



## РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 681.51

**Христюк А. О., ст. викладач, Маланчук Є. З., д.т.н., професор**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГІДРОВИДОБУТКОМ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРОМОНІТОРНОГО РОЗМИВУ

**Наведені дані експериментальних досліджень керування процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю за відстанню між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкістю розмиву породи.**

**Ключові слова:** гідровидобуток, управління, моделювання, автоматичне керування, гідророзмив.

**Вступ.** З відкриттям на Рівненщині покладів цеоліт-сметитових туфів та зернистих фосфоритів постала проблема їх ефективної розробки і використання в народному господарстві. Геологічні особливості залягання порід і їх фізико-механічні властивості дозволяють застосовувати технологію свердловинного гідровидобутку [1].

Руйнування породи є основним елементом процесу свердловинного гідровидобутку. Він полягає в порушенні цілісності масиву корисної копалини гідравлічним струменем високого тиску з одночасним переміщенням гідросуміші до підйомного пристрою. Оптимізація технологічних параметрів та автоматизація процесу розмиву є важливими чинниками для досягнення високих техніко-економічних показників.

**Аналіз останніх досліджень.** Через складність процесів та різноманітність факторів загальна теорія руйнування породи гідравлічним струменем не розроблена. Значний вклад у розвиток теорії руйнування породи гідравлічним способом внесли Е.І. Черней, А.Ф. Булат, З.Р. Маланчук, І.В. Садовенко та ін. [2-4].

Огляд існуючих систем показав недостатній рівень автоматизації технологічного процесу гідромоніторного розмиву. Управління розмивом, в основному, здійснюється оператором, що не забезпечує необхідної якості управління та продуктивності. Синтез сучасних систем управління гідромоніторним розмивом потребує встановлення

структурних зв'язків між вхідними та вихідними параметрами об'єкта, правильного вибору контрольованих параметрів і керуючих впливів.

**Методика досліджень.** В існуючих системах керування гідровидобутком здійснюється за часом роботи та консистенцією пульпи. Такий вибір контрольованих параметрів не дає змоги здійснювати ефективне керування процесом з ряду причин:

- оскільки вимірювання густини пульпи проводиться на поверхні, то виникає велике транспортне запізнення;
- розмита порода піднімається на поверхню ерліфтами або гідроелеваторами, ефективність роботи яких знижується при зміні консистенції пульпи;
- на зміну консистенції пульпи впливає також осідання розмитої породи під час транспортування її до підйомного механізму.

**Постановка завдання.** Пропонується здійснювати керування процесом гідромоніторного розмиву на основі контролю за відстанню між насадкою гідромонітора і стінкою вибою та швидкістю розмиву породи. Контроль за зміною розмірів камери виймання в часі несе також інформацію про продуктивність процесу розмиву. Сучасні ультразвукові та лазерні дальноміри дають змогу проводити вимірювання відстані безконтактним способом з високою точністю. Герметичне виконання та малі розміри дозволяють використовувати їх в умовах свердловинної гідротехнології.

Розробка систем автоматичного управління процесом гідромоніторного розмиву на основі моделювання процесу є важливим науково-технічним завданням, вирішення якого створює наукову базу для практичної реалізації ефективних систем управління.

**Результати досліджень.** Для побудови моделі об'єкта автоматизації необхідно дослідити його статичні і динамічні характеристики. Залежно від виду та складності об'єкта автоматизації, а також від технологічних вимог до якості керування процесом вибирається структурна схема, алгоритми і закони керування.

При створенні проекту автоматизації необхідно встановити структурні зв'язки між вхідними (керуючими) і вихідними (керованими) параметрами, вибрати способи та засоби реєстрації і передачі інформації в пункти управління, зняти статичні і динамічні характеристики об'єктів та визначити їх вид як об'єкта автоматизації, розробити й виконати схеми автоматизації та встановити необхідну частоту вимірювання і передачі даних.

Керуючими параметрами гідромонітору при свердловинному гі-

дровидобутку (СГВ) є тиск і витрата енергетичної води в насадці, а також швидкість повороту і подачі насадки в забій. Вихідними (оціночними) параметрами є густина гідросуміші і її витрата, що визначають продуктивність по твердому компоненту.

Вхідними параметрами гідроелеватора є тиск і витрата робочої води, а вихідними продуктивність гідроелеватора по гідросуміші.

Один із існуючих варіантів принципової структурної схеми автоматизованого управління обладнанням СГВ являє собою систему взаємопов'язаного регулювання. Продуктивність гідроруйнування регулюється шляхом зміни тиску енергетичної води в залежності від густини гідросуміші, що вимірюється після землесосу густиноміром. На порівняльний пристрій регулятора тиску (РТ) надходять сигнали від датчиків тиску (ДТ) і густини гідросуміші (ДГ), а також завдання по тиску води. Регулятор РТ опрацьовує отримані сигнали і виробляє сигнал керуючого впливу на виконавчий механізм-втулку, який регулює тиск енергетичної води.

За вищеописаною схемою керування гідромонітором здійснюється вручну, залежно від густини гідросуміші після ерліфту. В міру накопичення досвіду та встановлення закономірностей руйнування породи необхідно переходити до автоматичного управління гідромонітором з використанням програмованих логічних контролерів.

Нами пропонується стратегія автоматичного управління технологічним процесом СГВ на основі математичного апарату нечітких множин. Перевага підходу нечіткої логіки перед класичними методами, при описуванні систем управління полягає в тому, що можна не використовувати аналітичних залежностей, а достатньо професійного опису того, як процесом керує досвідчений оператор. Разом із цим вирішити дану задачу засобами класичної теорії є досить складним завданням, а створення точної математичної моделі є надто складним.

Керування складними системами успішно здійснюється досвідченими операторами, на основі якісного аналізу процесів. Таке керування оператором здійснюється на основі інтуїтивних правил типу «якщо...то», котрі не мають повного кількісного визначення. Саме досвід та спосіб мислення оператора-експерта покликаний використати новий напрямок систем керування та системного підходу, що отримала назву Fuzzy logic – нечітка логіка. Нечітка логіка є одним із найбільш перспективних напрямків сучасної теорії керування. На даний час ця теорія у всьому світі переживає справжнє піднесення.

В основі нечіткої логіки лежить теорія нечітких множин, де функція належності елемента до множини може приймати будь-яке

значення в діапазоні  $0...1$ . Над такими величинами передбачено весь спектр логічних операцій: об'єднання, перетинання, заперечення та ін. Нечітка логіка дає можливість будувати бази знань і експертні системи нового покоління, що здатні зберігати й обробляти неточну інформацію. Цей підхід виявився об'єктивно тому, що при ускладненні систем керування зменшується можливість робити точні та значущі твердження відносно поведінки системи і «наступає межа, за якою точність та значущість стають взаємовиключними характеристиками. Автор теорії нечітких множин американський математик Л. Заде стверджував: «... при зростанні складності точні значення втрачають значущість, а значущі твердження втрачають точність».

Нечітка логіка дає можливість зберігати й обробляти неточну інформацію. Цей підхід з'явився об'єктивно тому, що при ускладненні систем керування зменшується можливість робити точні та значущі твердження відносно поведінки системи і наступає межа, за якою точність та значущість стають взаємовиключними характеристиками.

Головною процедурою нечіткої логіки є процедура нечіткого висновку, за допомогою якої із нечітких умов отримують наближене рішення. Процедура нечіткого висновку ґрунтується на операції логічного слідування (імплікації). Імплікація дозволяє формалізувати базу знань за правилами «якщо  $X$ , то  $U$  де  $X$  – передумова,  $U$  – висновок. Стосовно нечіткого керування  $X$  – базова множина значень  $x$  регульованої величини;  $U$  – базова множина керувань  $u$ .

В залежності від способу отримання логічних висновків з нечітких правил можуть бути різні типи регуляторів. Для промислового використання пропонується алгоритм нечіткого регулятора Мамдані, коли регулятор формує чітке однозначне керування на основі процедури дефазифікації. Загальна структура керуючого контролера на основі нечіткої логіки складається із блока фазифікації, бази знань, блока прийняття рішень і блока дефазифікації.

Блок фазифікації перетворює поточні вхідні чіткі величини у нечіткі, які виражаються лінгвістичними змінними. Фазифікації витрата  $F$ , тиск енергетичної води  $P$  та зміна тиску  $\Delta P$ . Кожна лінгвістична змінна описується функцією належності. При цьому кожному числовому значенню змінної процесу ставиться у відповідність степінь належності до тієї нечіткої підмножини, що символізує конкретну лінгвістичну змінну. Наприклад, чисельний діапазон тиску  $P$  характеризуємо лінгвістичними величинами «Низький», «Середній» і «Високий».

Для формування нечітких керуючих впливів у блоці формування логічних рішень використовуються нечіткі умовні правила закладені в базі знань. База знань має форму «F=... ТА P=..., ТО  $\Delta P$ =...». Наприклад «ЯКЩО F=«Велика» ТА P=«Високий», ТО  $\Delta P$ =«Зменшити». При цьому правила сформульовані так, що досягається результат, при якому для будь-якої лінгвістичної змінної, як мінімум, одне із правил є прийнятним.

У блоці дефазифікації нечіткі дані, отримані в блоці рішень, перетворюються у чітку конкретну величину, що використовується для впливу на об'єкт керування. Існують різні методи дефазифікації. Для розрахунку керуючого впливу нами використовується метод центра ваги.

$$\Delta P = \frac{\mu_{\text{змен}} P_{\min} + \mu_{\text{збільш}} P_{\max} + \mu_{\text{незм}} 0}{\mu_{\text{змен}} + \mu_{\text{збільш}} + \mu_{\text{незм}}}, \quad (1)$$

де  $\mu_{\text{змен}}$ ,  $\mu_{\text{збільш}}$ ,  $\mu_{\text{незм}}$  – функції незалежності для управління.

За описаним алгоритмом нечіткий контролер реалізується програмою записаною в постійну пам'ять програмованого логічного контролера.

Використання нечіткого алгоритму для керування технічними об'єктами забезпечує:

- зменшення коливання регульованої величини;
- підтримання контрольованих параметрів на рівні мінімального допуску, завдяки чому знижується енергоспоживання;
- можливість використання даного алгоритму для різних об'єктів без попереднього математичного дослідження.

Умови роботи засобів контролю і управління при видобутку способом СГВ досить несприятливі. Технологічні датчики і силові кабелі встановлюються на відкритому повітрі та піддаються атмосферному впливу. Часті переїзди від однієї свердловини до іншої (у міру їх відпрацювання) ускладнюють їх монтаж. Більшість датчиків підлягають гідро абразивному зносу, що значно збільшує інтенсивність їх відмов, а відповідно, і витрати на експлуатацію, тому при проектуванні необхідно забезпечити підвищенні умови резервування. Для приймання і передавання інформації з декількох однотипних установок СГВ економічно доцільно мати один комплект приймально-передаючих засобів телемеханіки в центральному диспетчерському пункті (ЦДП).

Загальна структура керуючого контролера на основі нечіткої логіки наведена на рисунку і складається із:

- блока фазифікації;

- бази знань;
- блока прийняття рішень;
- блока дефазифікації.

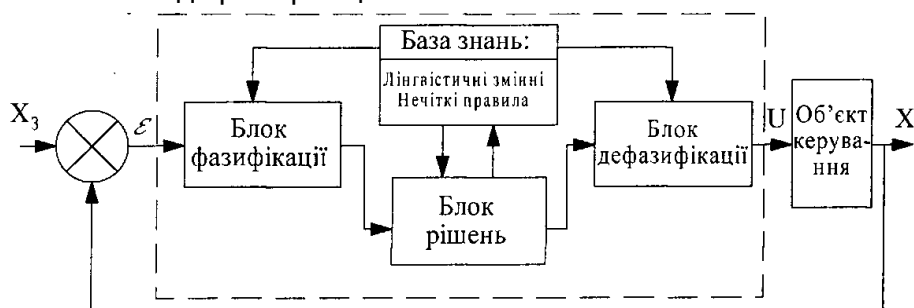


Рисунок. Загальна структура нечіткого контролера

Блок фазифікації перетворює поточні входні чіткі величини у нечіткі, які виражаються лінгвістичними змінними. Кожна лінгвістична змінна описується функцією належності. При цьому кожному числовому значенню змінної процесу ставиться у відповідність степінь належності до тієї нечіткої підмножини, яка символізує конкретну лінгвістичну змінну.

Для формування нечітких керуючих впливів блок формування логічних рішень використовує нечіткі умовні «*if - then*» правила закладені в базі знань. Частина «*if*» (передумова) може означати спряження будь-якої складності логічних операцій. Частина – «*then*» (рішення, висновок) являє собою визначення лінгвістичної змінної для вихідної величини контролера. При цьому правила формулюються так, що досягається результат, при якому для будь-якої лінгвістичної змінної, як мінімум, одне із правил є прийнятним.

У блоці дефазифікації нечіткі дані, отримані в блоці рішень, перетворюються у чітку величину, що використовується для впливу на об'єкт керування.

**Висновки.** Запропонована стратегія автоматичного управління технологічним процесом СГВ на основі математичного апарата нечітких множин реалізує перевагу підходу нечіткої логіки перед класичними методами, при описуванні систем управління, яка полягає в тому, що можна не використовувати аналітичних залежностей, а достатньо професійного опису того, як процесом керує досвідчений оператор. Разом із цим усунуто проблему вирішення даної задачі засобами класичної теорії керування.

**1.** Проблеми та перспективи застосування свердловинної гідротехнології для розвитку мінерально-сировинної бази Рівненсько-Волинського регіону

/ Маланчук З. Р, Калько А. Д., Боблях С. Р. // Материалы Седьмой международной промышленной конференции 2007 г., п. Славское. – 134–136 с.  
**2.** Маланчук З. Р. Научные основы скважинной гидротехнологии. – Ровно : РГТУ, 2002. – 372 с. **3.** Черней Э. И. Классификация систем разработки скважинной (СГД), подземной (ПГД) и комбинированной (КГД) гидродобычи / Черней Э. И. // Изв. вузов, геология и разведка. – М. : МГРИ, 1984. – № 7. – С. 76–85. **4.** Черней Э. И. Научные основы недропользования в Украине / Черней Э. И., Постоловский Р. М., Маланчук З. Р. – Ровно, 2000. – 343 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Маланчук З. Р. (НУВГП)

---

**Khrystiuk A. O., Senior Lecturer, Malanchuk Y. Z., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

#### **DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF HYDRODEVICES ON THE BASIS OF MODELING OF GIANT WASHOUT**

**The data of experimental researches of process control water jet erosion based on the monitoring of the distance between the nozzle of the discharge nozzle and the wall of face and rate of erosion of rocks.**

**Keywords:** Hydraulics, control, modeling, automatic control, hydro-erosion.

---

**Христюк А. А., ст. преподаватель, Маланчук Е. З., д.т.н., профессор** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

#### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДОБЫЧЕЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГИДРОМОНИТОРНОГО РАЗМЫВА**

**Приведены данные экспериментальных исследований управления процессом гидромониторного размыва на основе контроля за расстоянием между насадкой выпускного сопла и стенкой забоя и скоростью размыва породы.**

**Ключевые слова:** гидродобыча, управление, моделирование, автоматическое управление, гидроразмыв.

---